干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.04.26

哈尔滨城市土地生态安全时序评价及预测分析①

王　晶，　原伟鹏，　刘新平
（新疆农业大学管理学院，新疆　乌鲁木齐　830052）

摘　要：基于人文社会视角，以"自然—社会—经济"协同模型为依据构建土地生态安全评价体系，运用客观赋权法和综合指数法对哈尔滨市土地生态安全进行时序性评价。研究表明：(1) 哈尔滨市土地生态安全总体呈现出"敏感—良好—安全"动态变化过程，预测未来几年保持良好的发展态势。(2) 影响研究区土地生态安全的主要驱动因子为土地利用结构、城镇化率、人口密度和农用化肥施用量。(3) 坚持生态优先，加强土地利用适宜性和生态性的合理匹配，减小土地生态承载压力，构建稳态经济运行模式是哈尔滨市绿色发展的着力点。

关　键　词： 土地生态安全；时序演变；综合指数法；客观赋权法；哈尔滨

中图分类号： C935　　**文献标识码：** A　　**文章编号：**

由土地基本功能可知，随着城市的建设和发展，水环境污染、城市垃圾以及地下水位下降引发了不同程度的城市土地生态安全问题，城市土地生态安全是人类健康生存和社会经济持续发展的物质基础，城市土地安全问题越发严峻往往引起土地生态系统的脆弱性也日益显著。现阶段，城市土地生态安全的研究正是土地生态安全的研究前沿，与此同时，国际国内已将区域尺度的城市土地生态安全列为国家土地安全、城市发展边界和生态保护红线的重要组成部分[1]，城市土地生态安全问题研究已成为土地生态研究的重要方面，特别是从社会、经济维度进行区域土地生态安全评价与预测作为土地生态安全问题研究的新切入点。因此，通过对城市土地生态安全进行时序评价，探究造成城市土地生态安全问题的主要因子，健全城市土地生态安全评价体系，对症施策改善城市人居环境与促进经济社会持续发展意义重大。

近年来，随着科研发展与进步，我国土地生态研究逐渐出现分支，包括生态安全理论[2]、生态安全评价[3]、生态预警[4]及生态风险[5-6]等方向，其中土地生态安全评价趋向于对特色性系统进行评价研究[7-8]。研究人员分别从地理科学[9]、人文社会[10]、土地利用与景观格局[11-12]、农户生计资产[13]等视角依据 PSR 模型[14-15]或自然—经济—社会模型[16]构建土地生态安全评价指标体系对区域土地生态安全进行研究分析[17-19]；在指标的选取上主要包括土地利用结构、水资源条件等自然协调性指标[16,20]，农作物产量、经济密度等经济持续性指标[21-22]，以及反映社会稳定性的城镇化率、登记失业率、城乡收入比等指标[23]；在安全等级标准划分时主要采用等间距划分和非等间距划分[24]方式。

本文以哈尔滨市作为研究区域，充分考虑其作为我国北方的重要开放门户和东北地区的特大城市地位，从人文社会视角出发，通过构建自然—经济—社会复合评价体系，结合哈尔滨市社会经济发展状况，选取人均耕地面积、建成区绿化覆盖率、经济密度、单位面积粮食产量、城镇化率、人口自然增长率和城镇失业登记率等指标，运用综合指数法测算该区域城市土地生态安全综合值，同时充分考虑城市土地生态安全的动态性和稳定性，采用非等间距划分方式划定城市土地生态安全等级标准，并运用聚类分析法对非等间距分级结果进行验证，得出哈尔滨市城市土地生态在不同时点的安全等级，并在数据分析的基础上探究城市土地生态安全的主要影响因子，针对性的提出措施意见。以期为哈尔滨市城市土地生态安全进一步改善明确方向，实现经济稳态发展机制，加强生态建设战略地位，同时也为东北地区其他城市土地生态安全研究提供依据。

① **收稿日期：** 2018-01-27；　**修订日期：** 2018-04-28
基金项目： 国家自然科学基金项目(71663051)
作者简介： 王晶(1994-)，女，汉族，甘肃庆阳人，硕士研究生，主要从事土地生态与环境管理研究. E-mail:1061875112@qq.com
通讯作者： 刘新平(1959-)，男，汉族，重庆人，博士，教授，主要从事土地利用与土地生态研究. E-mail:lxping16@163.com

1 研究对象与评价体系

1.1 研究区概况

哈尔滨市位于中国东北平原,黑龙江省中南部,是中国陆地管辖面积最大的特大城市之一。地属中温带大陆性季风气候带,四季分明。全市自产水偏少,过境水较丰富,时空分布不均,表征为东富西贫。全市土地总面积为 53 100 × 10^4 hm^2,平原面积占全市总面积的 45.3% 。2016 年全市土地资源中耕地面积为 197.74 × 10^4 hm^2,绿化覆盖率 46.0% ,经济水平总体上呈良性发展。

1.2 评价体系与指标数据

土地生态安全评价体系构建应遵循科学性和合理性原则,因此在充分了解哈尔滨市近年来社会发展状况的前提下,依据多层次结构框架,以土地生态安全作为目标层,分析土地资源的生态安全状况;针对目标层的研究内容,选取影响土地生态环境的自然协调性因素、经济持续性因素和社会稳定性因素分别构成评价体系的项目层,评估各分领域的生态安全状况;选取 13 个在社会发展进程中具有代表性的单项评价指标来反映各项目层的安全水平。其评价体系见表 1。

2 土地生态安全值计算

2.1 评价指标权重计算

由于不同评价指标其统计数据大小不同,指标的计量单位和自身变异程度也大相径庭,难以进行分析比较与实践解释,故很有必要进行数据的标准化处理。根据土地生态安全与评价指标之间的联

表 1 城市土地生态评价指标体系及各指标实际值

Tab.1 Index system of city land ecological evaluation and actual value of each index

目标层	项目层	指标层	指标代码	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
城市土地生态安全	自然协调性	人均耕地面积 / hm^2	C_1	0.139 5	0.168 8	0.172 5	0.180 3	0.183 9	0.184 2	0.198 1
		人均公共绿地面积 / hm^2	C_2	4.71	5.38	5.57	5.80	7.29	8.19	8.82
		耕地面积比重 / %	C_3	25.5	31.0	31.9	33.5	34.3	34.4	37.0
		旱地面积比重 / %	C_4	96.72	80.72	82.64	78.18	76.32	76.10	74.33
		建成区绿化覆盖率 / %	C_5	26.70	27.50	28.80	30.62	33.68	39.10	38.40
	经济持续性	经济密度 / 10^4 元 · km^{-2}	C_6	302.35	338.51	387.26	450.63	530.41	598.38	690.60
		单位面积粮食产量 / t · hm^{-2}	C_7	0.59	0.598	0.593	0.579	0.594	0.636	0.658
		农民人均用电量 / kWh	C_8	125.40	129.61	162.87	220.79	246.05	249.33	260.34
		农用化肥施用量 / t · hm^{-2}	C_9	0.022 5	0.018 8	0.019	0.020 5	0.021 5	0.023 2	0.022 2
	社会稳定性	城镇失业登记率 / %	C_{10}	3.8	3.5	3.5	3.2	3	3	3.4
		城镇化率 / %	C_{11}	48.05	48.16	48.27	48.3	48.18	48.11	47.96
		人口密度 / 人 · hm^2	C_{12}	183	184	185	186	187	187	187
		人口自然增长率 / ‰	C_{13}	11.86	4.39	2.8	5.19	5.1	4.13	3.2

目标层	项目层	指标层	指标代码	2011	2012	2013	2014	2015	2016
城市土地生态安全	自然协调性	人均耕地面积 / hm^2)	C_1	0.198 3	0.198 0	0.197 6	0.200 4	0.205 7	0.397 9
		人均公共绿地面积 / hm^2	C_2	10.00	10.00	10.50	10.40	9.50	9.20
		耕地面积比重 / %	C_3	37.1	37.1	43.0	32.7	37.2	37.2
		旱地面积比重 / %	C_4	71.84	69.73	67.91	67.89	68.87	70.36
		建成区绿化覆盖率 / %	C_5	37.90	37.00	36.10	35.50	35.40	33.60
	经济持续性	经济密度 / 10^4 元 · km^{-2}	C_6	799.39	857.43	945.39	1 006.27	1 083.09	1 149.08
		单位面积粮食产量 / t · hm^{-2}	C_7	0.742	0.836	0.728	0.741	0.730	0.672
		农民人均用电量 / kWh	C_8	298.56	323.76	321.53	326.69	342.50	347.97
		农用化肥施用量 / t · hm^{-2}	C_9	0.022 9	0.023 9	0.024 7	0.024 8	0.023 6	0.023 1
	社会稳定性	城镇失业登记率 / %	C_{10}	3	3.4	3.6	3.7	3.9	3.8
		城镇化率 / %	C_{11}	47.97	48.21	48.31	48.75	51.70	51.38
		人口密度 / 人 · hm^2	C_{12}	187	187	188	186	181	181
		人口自然增长率 / ‰	C_{13}	2.7	-0.5	2.8	0.4	-0.2	2.3

数据来源:本文研究数据主要源自哈尔滨统计年鉴(2005—2017 年)、中国统计年鉴(2015 年)、中国哈尔滨网站、中华人民共和国民政部网站和哈尔滨政府网站等

系,可将指标分为正向指标和负向指标[21]。本文中正向指标意味着指标越大则土地生态越安全,反之则不安全,采用功效系数法处理数据(表2)。

当评价指标效用为正时,标准化后的实际评价值:

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \qquad (1)$$

当评价指标效用为负时,标准化后的实际评价值:

$$b_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \qquad (2)$$

式中:$\max x_{ij}$、$\min x_{ij}$分别为同一评价指标中的纵向最优者和最劣者[21]。

权重表示某一指标或要素在评价体系中的相对重要程度,因为确定指标权重的不同方法中,客观赋权法较之主观赋权法是以数据的定量分析为核心,可有效排除主观意识对指标相对重要程度的影响,所以本文采用客观赋权法中的熵权法和离差法分别计算各指标在评价体系中的贡献率,其中 λ_S 指熵权法计算得出的各指标权重,λ_L 指离差法计算所得权重,采用“乘法”集成综合计算得各指标权重 λ(见表3)。

2.2 城市土地生态综合安全指数计算

依据各指标权重,结合各项指标国际公认值、联合国环境规划署的相关标准、全国平均值或部分国家行业标准的参照基准值以便得出科学准确的生态安全综合指数,计算过程如下:

正向指标安全值计算公式:

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \geqslant S_j \\ \dfrac{x_{ij}}{S_j} \times 100\% & x_{ij} < S_j \end{cases} \qquad (3)$$

负向指标安全值计算公式:

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \leqslant S_j \\ \dfrac{S_j}{x_{ij}} \times 100\% & x_{ij} > S_j \end{cases} \qquad (4)$$

单项指标安全值计算公式:

$$I_{ij} = Y_{ij} \times \lambda_{ij} \qquad (5)$$

式中:Y_{ij}是各项指标的安全指数;x_{ij}为各项指标的实际值;S_{ij}为各项指标的基准值;I_{ij}为单项指标的安全值;再由公式 $T_j = \sum_{j=1}^{m} I_{ij}$ 可计算得出土地生态安全综合值 T_j,结果如表4所示。

表2 指标标准化处理结果

Tab.2 Standardized results of indicators

趋向	b_{ij}	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
正	C_1	0	0.11	0.13	0.16	0.17	0.17	0.23	0.23	0.23	0.22	0.24	0.26	1
正	C_2	0	0.12	0.15	0.19	0.45	0.60	0.71	0.91	0.91	1	0.98	0.83	0.78
正	C_3	0	0.31	0.37	0.46	0.50	0.51	0.66	0.66	0.66	1	0.41	0.67	0.67
负	C_4	0	0.55	0.49	0.64	0.71	0.72	0.78	0.86	0.94	1.00	1	0.97	0.91
正	C_5	0	0.06	0.17	0.32	0.56	1.00	0.94	0.90	0.83	0.76	0.71	0.70	0.56
正	C_6	0	0.04	0.10	0.18	0.27	0.35	0.46	0.59	0.66	0.76	0.83	0.92	1
负	C_7	0.96	0.93	0.95	1	0.94	0.78	0.69	0.37	0	0.42	0.37	0.41	0.64
正	C_8	0	0.02	0.17	0.43	0.54	0.56	0.61	0.78	0.89	0.88	0.90	0.98	1
负	C_9	0.38	1	0.97	0.72	0.55	0.27	0.43	0.32	0.15	0.02	0	0.20	0.28
负	C_{10}	0.11	0.44	0.44	0.78	1	1	0.56	1	0.56	0.33	0.22	0	0.11
正	C_{11}	0.02	0.05	0.08	0.09	0.06	0.04	0	0.00	0.07	0.09	0.21	1	0.91
负	C_{12}	0.72	0.58	0.43	0.29	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0	0.29	1	0.98
负	C_{13}	0	0.60	0.73	0.54	0.55	0.63	0.70	0.74	1	0.73	0.93	0.98	0.77

表3 各指标权重

Tab.3 Weights of indicators

权重	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
λ_S	0.09	0.06	0.04	0.03	0.06	0.08	0.04	0.06	0.09	0.07	0.25	0.1	0.03
λ_L	0.06	0.09	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.06
λ	0.07	0.07	0.03	0.03	0.06	0.09	0.04	0.07	0.09	0.08	0.26	0.1	0.02

表 4　土地生态安全综合指数

Tab. 4　Urban land ecological security comprehensive index

年份	自然协调性指数	经济持续性指数	社会稳定性指数	城市土地生态安全综合指数 T
2004	0.179 0	0.204 5	0.370 3	0.753 9
2005	0.186 6	0.211 8	0.384 1	0.782 5
2006	0.189 5	0.226 0	0.384 2	0.799 8
2007	0.194 6	0.246 9	0.383 1	0.824 6
2008	0.209 0	0.253 5	0.382 6	0.845 1
2009	0.222 9	0.251 8	0.382 8	0.857 4
2010	0.226 4	0.252 3	0.382 1	0.860 8
2011	0.233 3	0.254 3	0.382 1	0.869 8
2012	0.232 3	0.254 8	0.383 2	0.870 2
2013	0.234 3	0.258 5	0.383 2	0.876 1
2014	0.232 7	0.258 8	0.385 9	0.877 4
2015	0.226 8	0.261 8	0.400 8	0.889 4
2016	0.221 7	0.265 4	0.399 4	0.886 5

3　土地生态安全分析

3.1　土地生态子系统安全分析

根据表 4 所示数据作图 1 可得出：哈尔滨市自然协调性安全综合指数在 2004—2013 年总体上呈增长趋势，2012 年和 2014—2016 年安全指数有所下降；经济持续性系统的土地生态安全指数在上升中呈现一定程度的波动现象，其中 2009 年有轻微下降；社会稳定性系统土地生态安全指数呈现持续性波动增长，且在 2005 年和 2015 年涨幅明显。可进一步根据指标值变化与各子系统土地生态安全指数变化的对应关系，分析其对城市土地生态安全综合值的影响。

3.1.1　自然协调性子系统生态安全分析　2004—2013 年间哈尔滨市城市土地生态安全的自然协调性子系统土地生态安全值持续向良性发展，2014—2016年有所下降，通过对各项指标的具体分析可以得以下结论：

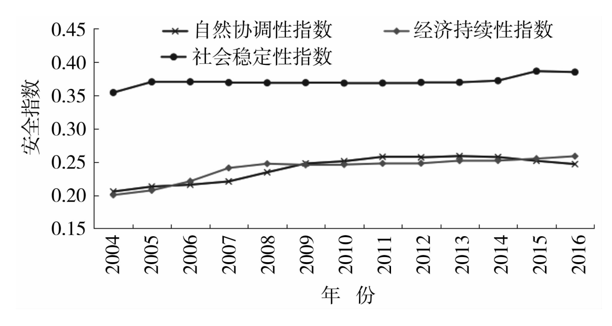


图 1　城市土地生态安全指数

Fig. 1　Urban land ecological security index

哈尔滨市耕地面积比重、人均占有公共绿地面积、人均耕地面积和建成区绿化覆盖率在研究期内都有所提高，旱地面积比重持续降低，其中人均耕地面积在研究期内持续增加，从 2004 年的 0.139 5 hm^2 至 2016 年增加为 0.397 9 hm^2；人均公共绿地面积和耕地面积在 2004—2013 年逐年增加，2014 年后均有不同程度的减少；旱地面积比重的持续下降趋势在 2015 年有轻微反弹，研究期末较基期降低了 27.25%。研究期内哈尔滨市自然协调性安全指数虽然总体上升幅度较小，但其在 2004—2013 年间达到 26.00% 的增幅，自然协调性系统的生态安全稳步提高，2014 年以后自然协调性安全指数有所下降，究其原因可知 2004—2013 年全市耕地面积比重增加的同时旱地面积比重减少，说明哈尔滨市的耕地资源结构得到了优化，人均公共绿地面积增加，土地利用方式得到改善，而 2014 年以后旱地面积占比增加，人均公共绿地面积减少，土地资源生态利用功能弱化，影响着自然协调性系统的生态安全。

3.1.2　经济持续性子系统生态安全分析　研究发现，哈尔滨市城市土地生态安全的经济持续性子系统土地生态安全值在 2009 年有较小波动，在研究期内整体上呈现稳定良性发展趋势。农民人均用电量逐年上涨，农用化肥施用量在 2005—2014 年波动性增加，单位面积粮食产量呈现波动性变化，表明人类对土地资源的利用强度不断加大，主动改变土地环境以满足各类物质需求的力度不断增强，但产出并未随生产投资的增加而增加，这种行为使得土地生态安全遭到更为严重和持久的人文破坏。同时，哈尔滨市的经济密度也在持续上涨且涨幅明显，研究期末较基期增加 280.05%，这一指标变化说明有更多经济资本可投入到保护和修复土地生态安全环境的行动中，从而对土地生态安全产生良性影响，提高土地生态安全指数。

3.1.3　社会稳定性子系统生态安全分析　哈尔滨城市土地生态安全的社会稳定性子系统生态安全值在研究期内在良性发展的总体趋势下呈较大幅度波动变化，2016 年的安全指数较 2004 年提高 7.84%，其中 2006 年和 2015 年出现波峰，2010 年出现波谷。2004—2006 年，社会稳定性安全综合指数持续大幅度上涨，分析原因在于人口自然增长率的大幅下降（从 2004 年的 11.86% 至 2006 年下降至 2.8%，下降幅度高达 76.39%），同时城镇化率提

高,极大减轻了农村人口对社会经济造成的巨大压力,土地利用负担减小,土地生态压力降低;2007—2009 年,社会稳定性安全水平上下波动,由于城镇失业登记率和人口自然增长率的持续变化,使得社会稳定性较差;2010 年后,城镇化率逐年增长,人口密度总体上降低;2015 年城镇化率达到正峰值,人口自然增长率为负值,人口密度达到负峰值,虽然城镇登记失业率持续上涨,但社会稳定性水平主要受城镇化率影响,随其增加而稳定性增强。

3.2　城市土地生态安全分级与预测

3.2.1　城市土地生态安全分级　鉴于城市土地生态安全综合指数 T_j 处于 0 ~ 1 之间,可通过界定城市土地生态安全综合指数所在安全等级判断其生态安全状况。在充分考虑哈尔滨市土地生态安全现状和土地生态安全的动态性、稳定性的基础上,确定土地生态安全等级标准为:恶劣、风险、敏感、良好和安全五个状态,本文采用非等间距划分方法对城市土地生态安全等级进行划分,并通过聚类分析法对其分等结果进行对照检验。

参考相关研究[23-24]得出非等间距划分标准,见表 5。研究显示在 2004—2006 年哈尔滨市土地生态安全综合指数低于 0.8,处于生态安全敏感级;从 2007 年开始,哈尔滨市土地生态安全综合指数处于良好级并逐年上涨。

运用 SPSS21.0 软件,对土地生态安全综合指数进行聚类分析,将具有较大相似性的样本数据分为一类,得到土地生态安全聚类图见图 2,将土地生态安全等级划分为五类时,哈尔滨城市土地生态安全水平时序性变化呈现出 2011—2016 年土地生态安全水平最高,2008—2010 年次之,其次为 2007 年、2005—2006 年,2004 年最差的结论,其排序与非等间距划分结果在整体趋势上保持一致,证明了本文对土地生态安全等级划分的合理性。

3.2.2　城市土地生态安全预测　用 Office 对城市土地生态安全综合指数时序性变化作图3,并用对数函数预测其发展趋势,可得到函数为 $y = 0.054\ln(x) + 0.7571$ ($R^2 = 0.9847$),依据城市土地生态安全分级标准,得出哈尔滨市城市土地生态安全状况在研究期内呈现出了从敏感到良好的动态变化过程,并且在未来几年将从良好级发展为安全级的这一结论,即在 2004—2016 年间哈尔滨市的土地生态水平不断提高且会在未来几年继续保持上升的趋势。

表 5　城市土地生态安全分级标准

Tab. 5　Grading standard of urban land ecological security

安全值 T	$T \le 0.4$	$0.4 < T \le 0.6$	$0.6 < T \le 0.8$	$0.8 < T \le 0.9$	$0.9 < T$
系统状况	恶劣级	风险级	敏感级	良好级	安全级

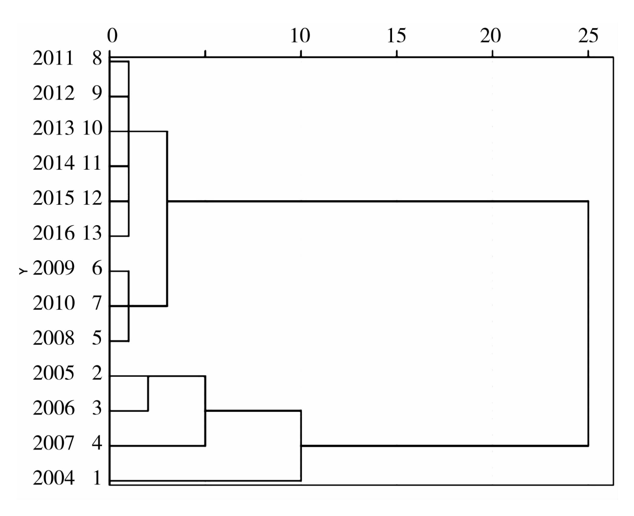


图 2　哈尔滨城市土地生态安全聚类图

Fig. 2　Cluster diagram of land ecological security in Harbin

研究显示在 2004—2005 年哈尔滨市城市土地生态安全综合值低于 0.8,处于生态安全敏感级;从 2007 年开始,哈尔滨市城市土地生态安全综合指数逐年上涨。研究期内自然协调性、经济持续性、社会稳定性各项目层的生态安全综合指数在波动中都有所提高,整个城市土地生态系统的安全度也得到了优化;自 2018 年后,哈尔滨市的城市土地生态安全综合指数虽高于 0.9 处于安全级状态,但在整体上受自然协调性因素的土地生态安全指数影响较大,如耕地面积比重、人均公共绿地面积和建成区绿化

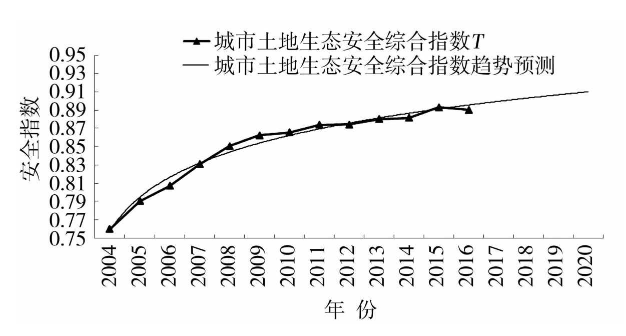


图 3　城市土地生态安全综合指数时序性变化预测

Fig. 3　Prediction of urban land ecological security comprehensive index

覆盖率等都逐年减小，同时农用化肥施用量和人口密度的逐年增加也在一定程度上增加了人类活动对城市土地生态安全环境的压力。综合考虑各系统的发展趋势和作用效果，可以判断哈尔滨市的城市土地生态安全状况会越来越趋向于安全状态。

4 结 论

本文依据自然—经济—社会概念协同模型构建哈尔滨市土地生态安全评价体系，采用熵权法和离差法集成求取权重后，运用综合指数法计算城市土地生态安全指数，根据非等间距法和聚类分析结果划分生态安全等级，进而对 2004—2016 年哈尔滨市土地生态安全进行分析评价并做出预测，得到以下结论：

（1）哈尔滨市土地生态安全水平不断提高且在未来几年保持上升趋势。研究期内自然协调性指数在 2004—2013 年总体上呈增长趋势，2012 年和 2014—2016 年有所下降；经济持续性指数在上升中呈现一定程度的波动现象；社会稳定性指数呈现持续性波动增长；土地生态安全综合指数从 2004 年的 0.753 9 逐年提高至 2016 年的 0.886 5，并预测在未来几年保持良好的发展态势，总体呈现出“敏感—良好—安全”的动态变化过程。

（2）影响研究区土地生态安全的主要驱动因子为土地利用结构、农用化肥施用量、城镇化率和人口密度。哈尔滨市的耕地面积比重、人均公共绿地面积和建成区绿化覆盖率等都逐年减小，耕地资源结构得到了优化，土地利用方式得到改善，土地资源的生态利用功能加强。农用化肥施用量逐年增加，人类对土地资源的利用强度不断加大，主动改变土地环境以满足各类物质需求的力度不断增强，但当资本投入超过土地生产“阀限”时会导致土地生态安全压力增加。城镇化率逐年增长以及人口密度的降低，使得土地生产负担减小，土地生态压力降低，对土地生态安全水平起到提高作用。

（3）指标的差异化对土地生态安全产生多元化效应。研究发现，依据各单项指标提供的相关信息，如建成区绿化覆盖率、经济密度和人均公共绿地面积等指标均在 2004—2016 年内表现出不同程度的上升趋势，这表明上述各指标对哈尔滨市城市土地生态安全的提升都具有不同程度上的贡献作用。其他如农用化肥施用量和人口密度等指标呈现出不同幅度的上升趋势却意味着人类活动对城市土地生态安全造成了越来越多的负面影响，城市土地生态安全状况受到的来自人类活动的压力逐年增加。同时，经济密度的增加一方面表明资源利用强度加大，利用效率提高，加大了资源承载压力，另一方面也反映出有更多经济资本可投入到保护和修复土地生态安全环境的行动中，从而对土地生态安全产生良性影响，提高土地生态安全指数；城镇化率和城镇失业登记率等指标一方面表明社会经济可为城市土地生态安全做出的贡献，但另一方面也对哈尔滨市城市土地生态安全状况提升力度存在制约作用。

（4）坚持生态优先，构建稳态经济运行模式是哈尔滨市绿色发展的着力点。土地生态系统作为一个复杂性整体，要注意其各要素之间的有机联系，防止土地利用与管理中的人为割裂。针对哈尔滨市存在的土地生态安全问题，要着力构建稳态经济运行模式，积极倡导土地生态安全保护，有效增加绿地面积、提高建成区绿化覆盖率和经济密度，加强土地利用适宜性和生态性的合理匹配；大力发展科技水平和农业生产技术，减少农用化肥施用，积极落实国家为健全生态保护补偿机制颁布的各项政策；控制人口数量和人口密度，增加社会就业岗位，改善就业形式，减小土地生态承载压力；此外，还需科学合理地做好土地利用规划、土地用途管制和城市生态格局的景观设计，限制城市发展边界和划定城市生态红线，促进土地生态环境向良好的状态发展，为实现东北振兴筑牢生态根基。

综上所述，研究土地生态安全不必只局限于具有标志性的生态脆弱区以求发现影响土地生态安全的各项因素及其作用大小，对土地生态安全处于安全级的地区进行时间尺度上的纵向研究评价，分析研究区域内影响土地生态安全的关键因素，进而可横向对比其他生态脆弱区域，使得对生态脆弱区的分析更加准确，指导敏感区土地生态安全改善提高。本文在土地生态安全指标体系构建过程中虽密切结合哈尔滨市社会经济发展动态，追求评价指标的针对性与合理性，但由于统计资料与数据的获取限制，并未将土壤质量、水资源条件等数据考虑在内，在后续的科研过程中需更科学合理地完善评价体系，丰富土地生态研究方法。

参考文献(References)

[1] 赵源,黄成敏,温军会. 土地系统脆弱性研究进展和展望[J]. 中国农业资源与区划,2013,34(5):121－127. [ZHAO Yuan, HUANG Chengmin, WEN Junhui. Research progress and prospect of land system vulnerability[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning October, 2013, 34(5):121－127.]

[2] 吴柏海,余琦殷,林浩然. 生态安全的基本概念和理论体系[J]. 林业经济,2016,38(7):19－26. [WU Baihai, YU Qiying, LIN Haoran. Basic concepts and theoretical system of eco-security[J] Forestry Economics,2016,38(7):19－26.]

[3] 庞雅颂,王琳. 区域生态安全评价方法综述[J]. 中国人口. 资源与环境,2014,24(S1):340－344. [PANG Yasong, WANG Lin. A review of regional ecological security evaluation[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(S1):340－344.]

[4] 聂春霞,刘晏良,甘昶春. 新疆城市化进程中生态预警研究[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(3):379－385. [NIE Chunxia, LIU Yanliang, GAN Changchun. Ecological early-warning in the process of urbanization in Xinjiang[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2013,22(3):379－385.]

[5] 张学斌,石培基,罗君,等. 基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析——以石羊河流域为例[J]. 自然资源学报,2014,29(3):410－419. [ZHANG Xuebin, SHI Peiji, LUO Jun, et al. The ecological risk assessment of arid inland river basin at the landscape scale:A case study on Shiyang River Basin[J]. Journal of Natural Resources,2014,29(3):410－419.]

[6] 王美娥,陈卫平,彭驰. 城市生态风险评价研究进展[J]. 应用生态学报,2014,25(3):911－918. [WANG Meie, CHEN Weiping, PENG Chi. Urban ecological risk assessment: A review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2014,25(3):911－918.]

[7] 张利,陈影,王树涛,等. 滨海快速城市化地区土地生态安全评价与预警——以曹妃甸新区为例[J]. 应用生态学报,2015,26(8):2445－2454. [ZHANG Li, CHEN Ying, WANG Shutao, et al. Assessment and early warning of land ecological security in rapidly urbanizing coastal area: A case study of Caofeidian new district, Hebei, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2015,26(8):2445－2454.]

[8] 丁新原,周智彬,马守臣,等. 矿粮复合区土地生态安全评价——以焦作市为例[J]. 干旱区地理,2013,36(6):1067－1075. [DING Xinyuan, ZHOU Zhibin, MA Shouchen, et al. Evaluation of eco-security of land for the overlapped areas of crop and mineral production: A case of Jiaozuo City[J]. Arid Land Geography,2013,36(6):1067－1075.]

[9] 孙芬,吴涌泉,刘秀华,等. 基于 GIS 的三峡库区土地生态安全评价——以丰都县沿江地区为例[J]. 中国农学通报,2012,28(8):240－247. [SUN Fen, WU Yongquan, LIU Xiuhua, et al. Land eco-security evaluation in the Three Gorges Reservoir Area based on GIS: A case along the Yangtze River Region of Fengdu County[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2012,28(8):240－247.]

[10] 李悦,张合兵,张小虎,等. 基于熵值法和灰色预测模型的城市土地生态安全评价[J]. 环境科学与技术,2014,38(12):242－247. [LI Yue, ZHANG Hebing, ZHANG Xiaohu, et al. Evaluation on ecological security of urban land based on entropy method and grey prediction model[J]. Environmental Science & Technology, 2014,38(12):242－247.]

[11] 蒙吉军,燕群,向芸芸. 鄂尔多斯土地利用生态安全格局优化及方案评价[J]. 中国沙漠,2014,34(2):590－596. [MENG Jijun, YAN Qun, XIANG Yunyun. The Optimization of ecological security pattern based on land use and assessment of schemes in Ordos[J]. Journal of Desert Research,2014,34(2):590－596.]

[12] 张飞,塔西甫拉提・特依拜,曹鑫,等. 干旱区内陆艾比湖流域景观格局时空变化及生态安全评价[J]. 水土保持通报,2015,35(1):249－255＋363. [ZHANG Fei, TIYIP Tashpolat, CAO Xin, et al. Spatial and temporal change of landscape pattern and ecological security assessment of Ebinur Lake Watershed in inland arid region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2015,35(1):249－255＋363.]

[13] 乔蕻强,刘学录,乔伟栋,等. 基于农户生计资产视角的土地生态安全定量评估[J]. 中国沙漠,2016,36(4):1182－1189. [QIAO Hongqiang, LIU Xuelu, QIAO Weidong, et al. Quantitative evaluation of land ecological security in Minqin based on farmer livelihood assets[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(4):1182－1189.]

[14] 解雪峰,吴涛,肖翠,等. 基于 PSR 模型的东阳江流域生态安全评价[J]. 资源科学,2014,36(8):1702－1711. [XIE Xuefeng, WU Tao, XIAO Cui, et al. Ecological security assessment of the Dongyang River Watershed using PSR modeling[J]. Resources Science,2014,36(8):1702－1711.]

[15] 王磊,郭灿,李慧明. 基于 PSR-TOPSIS 模型的夏回族自治区土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2016,23(6):154－159. [WANG Lei, GUO Can, LI Huiming. Evaluation of land security in Ningxia Hui Autonomous Region based on PSR-TOPSIS model[J]. Research of Soil and Water Conservation,2016,23(6):154－159.]

[16] 刘艳,桂智凡. 基于"自然—经济—社会"模型的土地生态安全评价研究——以黄石市为例[J]. 安徽农业科学,2013,41(28):11536－11539. [LIU Yan, GUI Zhifan. The land ecological safety evaluation of Huangshi City based on "Natural-Economic-Social" model[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2013,41(28):11536－11539.]

[17] 秦晓楠,卢小丽,武春友. 国内生态安全研究知识图谱——基于 Citespace 的计量分析[J]. 生态学报,2014,34(13):3693－3703. [QIN Xiaonan, LU Xiaoli, WU Chunyou. The knowledge mapping of domestic ecological security research: Bibliometric analysis based on citespace[J]. Acta Ecologica Sinica ,2014,34(13):3693－3703.]

[18] 乔蕻强,程文仕. 基于熵权物元模型的土地生态安全评价[J]. 土壤通报,2016,47(2):302－307. [QIAO Hongqiang, CHENG Wenshi. Ecological security evaluation of land based on entropy weight matter-element model[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016,47(2):302－307.]

[19] 荣慧芳,张乐勤,严超. 基于熵权物元模型的皖江城市带土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2015,22(3):230－235.

[SONG Huifang,ZHANG Leqin,YAN Chao. Evaluation on ecological security of land in Wanjiang Urban Belt based on entropy weight matter-element model[J]. Research of Soil and Water Conservation,2015,22(3):230－235.]

[20] 李进涛,李贻学,巩玉玲,等. 基于 IDRISI 的山东省土地生态安全评价研究[J]. 中国人口. 资源与环境,2014,24(S3):190－193. [LI Jintao,LI Yixue,GONG Yuling,et al. Study on land ecological security evaluation based on IDRISI in Shandong[J]. China Population,Resources and Environment,2014,24(S3):190－193.]

[21] 魏宁宁,荆延德. 基于 BP 神经网络方法的济宁市土地生态安全评价研究[J]. 广东土地科学,2013,12(4):37－42. [WEI Ningning,JING Yande. Evaluation on ecological security of land in Jining based on BP neural network[J]. Guangdong Land Science,2013,12(4):37－42.]

[22] 侯玉乐,李钢,渠俊峰,等. 基于改进灰靶模型的土地生态安全评价——以江苏省徐州市为例[J]. 水土保持研究,2017,24(1):285－290. [HOU Yule,LI Gang,QU Junfeng,et al. Evaluation of land eco-security based on improved grey target model: A case of Xuzhou City,Jiangsu Province[J]. Research of Soil and Water Conservation,2017,24(1):285－290.]

[23] 李悦,张合兵,张小虎,等. 基于熵值法和灰色预测模型的城市土地生态安全评价[J]. 环境科学与技术,2014,38(12):242－247. [LI Yue,ZHANG Hebing,ZHANG Xiaohu,et al. Evaluation on ecological security of urban land based on entropy method and grey prediction model[J]. Environmental Science &Technology,2014,38(12):242－247.]

[24] 李春燕,南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学,2015,29(4):72－81. [LI Chunyan,NAN Ling. Dynamic evaluation and diagnosis of obstacle factors on land eco-security in Shaanxi Province[J]. China Land Sciences,2015,29(4):72－81.]

[25] 余健,房莉,仓定帮,等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报,2012,28(5):260－266. [YU Jian,FANG Li,CANG Dingbang,et al. Evaluation of land eco-security in Wanjiang District base on entropy weight and matter-element model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(5):260－266.]

Time series evaluation and prediction analysis of urban land ecological security in Harbin City

WANG Jing, YUAN Wei-peng, LIU Xin-ping

(*School of Management*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: In recent years, the research of urban land ecological security problems has become an important topic in land ecological research. The evaluation and prediction of regional land ecological security of a city is a prerequisite to solve the land ecological security issues of the city. From the perspective of human society, this paper embarked on time series analysis and the land ecological security evaluation system was constructed based on the "nature-society-economy synergetic model", using the entropy weight method and comprehensive index method. The weight of each evaluation index was obtained and the comprehensive value of land ecological security was calculated to evaluate and forecast the status of urban land ecological security and the driving factors of land ecological security in Harbin City, Heilongjiang Province, China. The countermeasures to strengthen the land ecological security of the city were proposed. The research results show as follows: (1) The land ecological security value of Harbin City was increased from 0.759 9 in 2004 to 0.890 4 in 2016, which indicated the dynamic change process following a pattern of "Sensitive level-Good level-Safe". (2) The land ecological security of Harbin City will be in the Good level in the next few years and maintain a good development trend. (3) The main influence factors of land ecological security in Harbin City include the land use structure, urbanization rate, population density and the amount of fertilizer applied to agriculture.

Key words: land ecological security; time series evolution prediction; comprehensive index method; Harbin City